



# **Begränsningar i litografisk kretskortstillverkning**

Rami Mansour

Examensarbete

Elektroteknik

2011

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Elektroteknik / Telekommunikation
Identifikationsnummer:	2904
Författare:	Rami Mansour
Arbetets namn	Begränsningar i litografisk kretskortstillverkning
Handledare:	René Herrmann
Granskare:	Johnny Biström
Uppdragsgivare:	Arcada
<p>Abstrakt/Sammandrag:</p> <p>Kretskortstillverkning är ett centralt begrepp inom elektronik. Arcada har utrustning för tillverkning av kretskort. Kvalitetsskillnader på kretskorten och eventuella processbegränsningar kontrolleras med skolans utrustning. Två testkretskort är tillverkade med olika linjetjocklekar och olika mellanrum mellan linjerna. Skillnaden på testkretskorten är placeringen av masken vid belysningsskedet. Maskplaceringen och kvaliteten av masken är mycket viktiga vid litografisk tillverkning. Resultaten av testplattorna studeras med ett mikroskop. I arbetet studeras endast kvaliteten av kopparledarna på ett ensidigt kretskort. Kretskortet tillverkas med belysnings- och framkallningsmetod (etsning). Denna metod är väl känd och relativt enkel för tillverkning av ensidiga kretskort med hjälp av ljus och kemikalier. Målet med forskningen är att få reda på vad den minsta benbredden och minsta benmellanrummet är på kopparledarna, som kan tillverkas utan att kvaliteten är dålig. Dålig kvalitet i detta arbete är linjer, som är kortslutna eller brutna. Den minsta benbredden är 200 <math>\mu\text{m}</math> och det minsta benmellanrummet är 300 <math>\mu\text{m}</math>. Ett benavstånd av 300 <math>\mu\text{m}</math> har ett fel av 18,35 % som ökar för mindre avstånd. Bentjockleken på 200 <math>\mu\text{m}</math> har ett fel av 6,50 % som ökar dess mindre benbredden är.</p>	
Nyckelord:	Litografi, PCB, Etsning, Belysning, Framkallning, Kretskortstillverkning
Sidantal:	33
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	6.6.2011

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree program	Electrical Engineering / Telecommunications
Identification number:	2904
Author:	Rami Mansour
Title:	Restrictions in lithographical manufacturing of printed circuit boards
Supervisor:	René Herrmann
Examinor:	Johnny Biström
Commissioned by:	Arcada
<p>Abstract:</p> <p>Printed Circuit Board (PCB) manufacturing is a central term in electronics. Arcada has equipment for manufacturing of PCB's. The quality of the PCB's and potential process restrictions will be studied with the school's equipment. Two test circuit boards will be manufactured with different line thicknesses and different spaces between the lines. The difference of these two test circuit boards will be the placing of the mask in the exposure process. The placing and quality of the mask are crucial in lithographical manufacturing of PCB's. The results of the test circuit boards will be studied with a microscope. The PCB will be manufactured with the exposure and development method (etching). This method is well known and relatively simple when manufacturing single-sided PCB's with the help of light and chemicals. The goal with this study is to find the smallest thickness of the copper lines and the smallest space between the copper lines that can be manufactured without the quality being bad. Uneven or broken lines are considered bad quality in this study. The smallest thickness is 200 µm and the smallest space is 300 µm. A space of 300 µm has a fault of 18,35 % which increases the smaller the space is. The thickness of 200 µm has a fault of 6,50 % which increases the smaller the thickness is.</p>	
Keywords:	Lithography, PCB, Etching, Exposure, Development, Manufacturing of PCB's
Number of pages:	33
Language:	Swedish
Date of acceptance:	6.6.2011

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>INTRODUKTION.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>KRETSKORTSTILLVERKNING .....</b>	<b>7</b>
	2.1 Tillverkning av testkretskorten .....	9
	2.2 Litografi .....	10
	2.3 Belysning .....	11
	2.4 Framkallning .....	12
	2.5 Etsning .....	14
	2.6 Val av material .....	15
<b>3</b>	<b>METODEN .....</b>	<b>17</b>
	3.1 Olika sorter av etsningsfel.....	17
	3.2 Design av masken .....	18
	3.3 Produktion med materialval .....	20
<b>4</b>	<b>INSPEKTION AV KRETSKORT.....</b>	<b>21</b>
	4.1 Tjockleksvariation.....	23
	4.1.1. Mätresultat av bentjockleksvariation.....	24
	4.2 Mellanrumsvariation .....	25
	4.2.1. Mätresultat av benmellanrum .....	26
	4.3 Slutsatser av mätresultat .....	27
	4.3.1 Bentjocklek .....	27
	4.3.2 Benmellanrum.....	28
<b>5</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>KÄLLFÖRTECKNING .....</b>	<b>33</b>
	<b>BILAGA 1. MÄTRESULTAT</b>	

# 1 INTRODUCTION

Kretskortstillverkning är ett centralt begrepp inom elektronik. Arcada har utrustning för tillverkning av kretskort. Kretskortskvaliteten kan man undersöka med hjälp av ett mikroskop. I forskningen kommer jag att tillverka kretskort. Kvalitetsskillnader på kretskorten och eventuella processbegränsningar kontrolleras med skolans utrustning.

I dagens elektronik krävs det allt mindre och mindre kretskortdetaljer med de minsta komponenter som är mycket nära varandra. Processen var man belyser masken på kretskortsmaterialet är ett mycket viktigt skede i tillverkningen.

Syftet med forskningen är att få reda på vad den minsta bredden och minsta benmellanrummet är på kopparledarna, som kan tillverkas utan att kvaliteten är dålig. Dålig kvalitet i detta sammanhang är när själva bredden av kopparledaren inte är konstant längs den tillverkade kopparledaren.

Frågor som kommer att behandlas är:

- Vad är inverkan av maskens belysningsriktning?
- Vilket steg i tillverkningsprocessen är det som mest begränsar kvaliteten av kretskortet?
- Vilka åtgärder förbättrar upplösningen av den tillverkade masken?

Huvudvikten med arbetet kommer att vara vid etsningskvaliteten och hur den är beroende av masken och litografin. Begränsningar i tillverkningen kommer att kontrolleras med mikroskopisk undersökning av etsade strukturer.

Orsaken till detta ämnesval var intresset för att undersöka vilka är de minsta detaljer som kan inbyggas i kretskortet då Arcadas utrustning tillämpas.

I arbetet studeras endast kvaliteten av kopparledarna på ett ensidigt kretskort. Kvaliteten studeras med hjälp av ett mikroskop. Kretskortet tillverkas med belynings- och framkallningsmetod (etsning). Denna metod är väl känd och relativt enkel för tillverkning av ensidiga kretskort med hjälp av ljus och kemikalier.

Det visade sig vara svårt att hitta information av kretskortstillverkande. All information av tillverkningsmetoderna är mycket vitt utspridd, som gjorde det svårt att hitta pålitligt material. Av själva litografiska tillverkningsprocessen hittade man nästan inga informationskällor i Finland, utan använde mig av publikationer från Förenta Staterna. Organisationer som Institute for Printed Circuits (IPC) har kommit ut med mycket dokumentation och standarder inom kretskortstillverkning men den information är avsedd för industrin som betyder att allt material kostar.

## 2 KRETSKORTSTILLVERKNING

Kretskort, kallas också i vissa fall för mönsterkort, är en platta gjord av ett isolerande material med ett påtryckt mönster av elektriskt ledande material. Industriella kretskortstillverkningen började omkring 1950 när USA började använda denna teknologi i sina radioapparater och annan militär utrustning under andra världskriget. Efter kriget började också efterfrågan på apparater gjorda med denna teknologi öka. Speciellt den kommersiella sidan hade stor efterfrågan på mindre apparater i tillverkning av radion och televisioner. Under denna tid hade kretskorten inte ett mönster tryckt på dem. Istället för det så fanns det fasta ställen för komponenterna som var ihopkopplade med en elektriskt ledande tråd. På 1970-talet så tillämpades denna teknologi redan i alla tekniska branscher. /1/

Efter detta har kretskorten ändrats mycket eftersom kraven på allt mindre och mindre komponenter och kretskort hela tiden har vuxit. Begränsningar på storleken av själva kretskortet har också gett upphov till flere olika lager av mönster på ett enda kort. Vanligaste mängden lager på ett kort är två eller fyra medan det finns kort med upp till trettio olika mönsterlager på sig. På kretskort som är industritillverkade finns det många olika skikt var koppar används som ledare mellan de fastmonterade komponenterna. För privatbruk så tillverkar man vanligen ett eller två skikt på kortet och för detta är etsning det enda kloka sättet att tillverka kretskortet. Redan att laga två skikt kan vara mycket svårt för placeringen av masken på båda sidorna parallellt är inte lätt.

När man tillverkar kort med mera än två sidor kallas de multi-layer kretskort. Multi-layer korten är egentligen flere tvåsidiga kretskort limmade ihop med ett bindande kompositmaterial. De olika ytorna har borrarade hål på olika ställen så att rätta delar av mönstret kan vara ihopkopplade.

Det finns också specialkretskort som kallas flexibla kretskort. Med hjälp av deras flexibilitet så kan de böjas till tredimensionella former istället för en styv platta. Dessa kretskort används för att binda två styva kretskort tillsammans t.ex. pace-makers eller bärbara datorer. /1/

Huvudsakligen finns det två olika sätt att tillverka ett kretskort då man tillverkar ett kort som har högst två olika lager. Det första av dem kallas litografisk tillverkning var man överför det önskade mönstret till ett kretskort med en fotoresistiv yta över sig. Efter överföringen av mönstret så behöver kortet ännu etsas med kemikalier för att ta bort kopparn på de oönskade platserna. I litografisk kretskortstillverkning är de vanligaste överföringsmetoderna före etsningen följande:

- Direkt ritning – man ritar mönstret man vill ha med en resistiv penna rakt på kopparytan eller använder specialtejp. Detta är den snabbaste tekniken för mönsteröverföring. Den dåliga sidan är svårigheten med att få jämna skikt av fotoresisten över kopparkortet och att linjerna inte blir raka.
- Fotografisk överföring – man ritar mönster med en dator, skriver ut det på ett papper och överför det på en kopparyta belagd med fotoresist. Ett sätt är att man skriver ut det på ett vanligt papper med en laserprinter och stryker mönstret på kretskortet med ett stryklod. Det andra sättet är att skriva ut mönstret på en transparang och överföra mönstret till kopparytan med UV-ljus. Denna teknik är förmånlig och man kan tillverka mycket noggranna mönster.

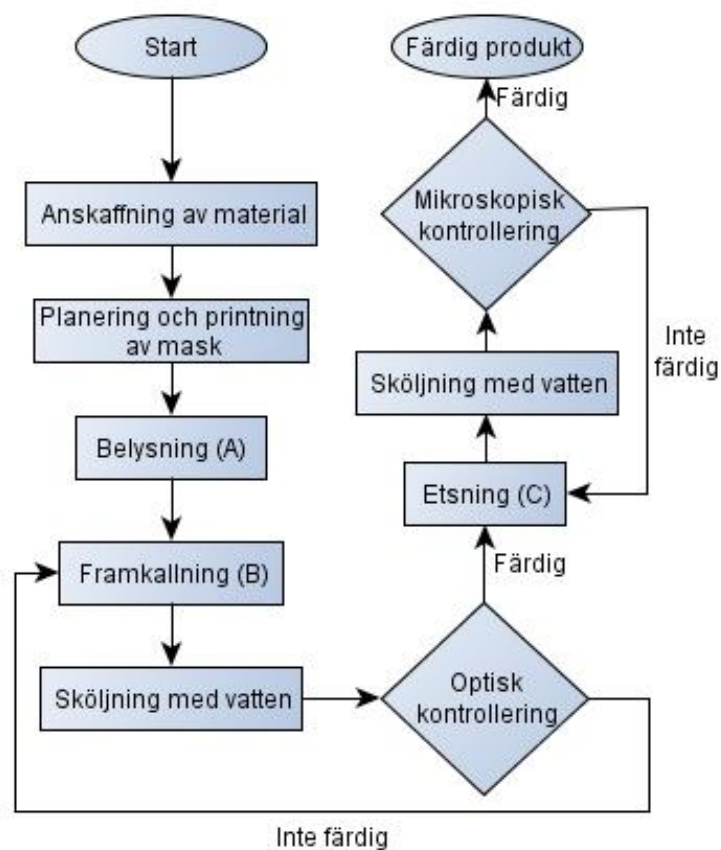
Ett annat alternativ är Laser Direct Imaging (LDI) var man med hjälp av en laser tar bort fotoresistet på de områden man vill. Fördelarna med detta är att den är mycket snabb, kräver inga masker och är mycket noggrann. Nackdelen med LDI är att dessa apparater är dyrbara och inte är lämpliga för tillverkning av små mängder av kretskort. /1/



## 2.1 Tillverkning av testkretskorten

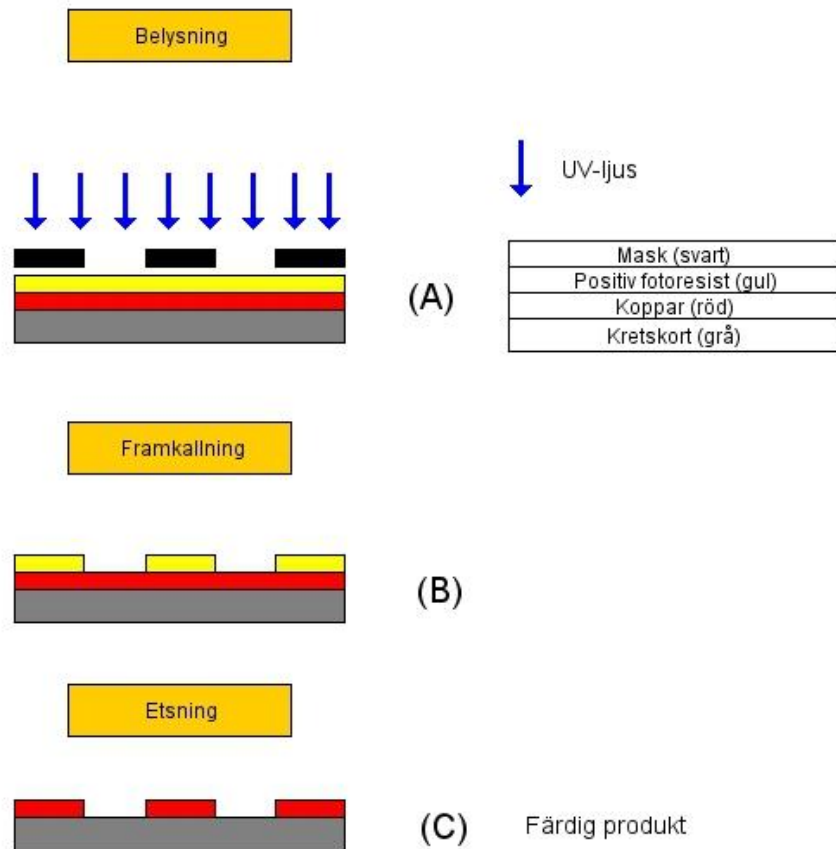
I denna forskning valde jag att tillverka kretskortet litografiskt och för belysningen använda UV-ljus. Följande fyra steg används:

1. Planering och printning av mask
2. Belysning (A)
3. Framkallning (B)
4. Etsning (C)



*Figur 1. Tillverkningsprocessen*

De olika skedena i tillverkningen kan man se i Figur 1. En närmare bild av vad som händer åt de olika skiktena på kretskortet ser man i Figur 2. /4/



Figur 2. Skikt på kortet i olika skeden

## 2.2 Litografi

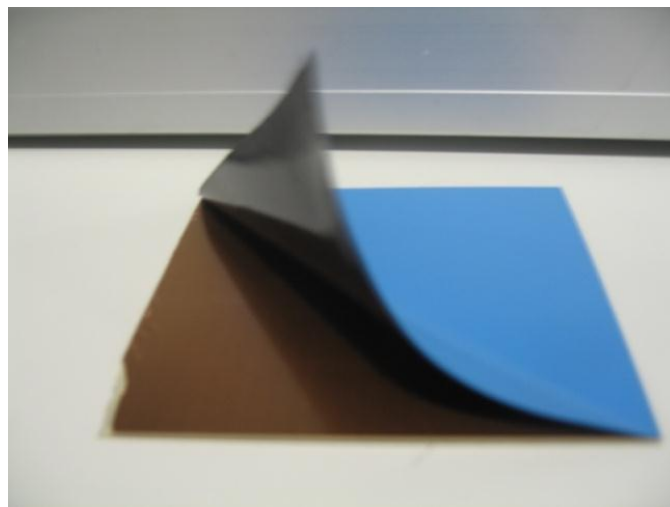
Med litografi menas en tryckmetod med vilken man får ett mönster tryckt på en jämn yta. I elektronik är en vanlig metod UV-belysning av en platta som har en ljussensitiv yta på sig. Man kan också tillverka mönster med mekanisk skrapning och laserbränning.

Glasfiberplattan består av tre olika lager. Bottenlagret är vanligen gjort av glasfiber eller det som användes i denna forskning av Pertinax som är en billigare version som består av glasfiber och en plastblandning. Mittersta lagret är ett tunt skikt av koppar, som blir våra ledare i slutprodukten. Översta skiktet är ett lager av lack som har antingen positiv eller negativ laddning. Den positiva laddningen är sensitiv för ljus på de obelysta områdena, medan det negativt laddade lacket är sensitivt för ljus på det belysta området.

/2/

## 2.3 Belysning

Litografiska tillverkningen av kretskortet gjordes med denna metod. Efter att man har masken utskriven på en transparang så tar man bort det skyddande lagret från kretskortet (Figur 3).



*Figur 3. Kretskort med skyddande lager*

Sedan lägger man masken på det UV-sensitiva lacket och belyser det med UV-ljus (Figur 4). Tiderna på hur länge man skall belysa masken på kortet varierar mellan tillverkaren och utrustningen man använder. Man kan inte genom belysning fästa masken i lacket med en vanlig glödlampa eller med ett ljusrör för det skulle ta för länge.



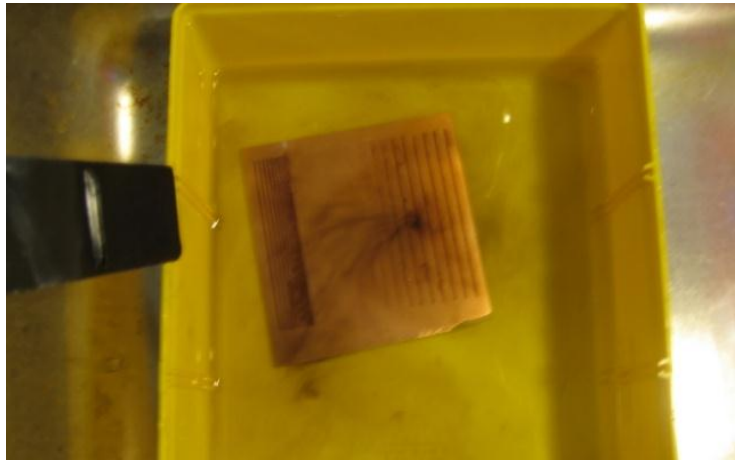
*Figur 4. Kretskortet i belysningsapparaten*

Belysningstiden är mycket viktig. Om man belyser masken för länge så kommer ljuset att komma igenom masken mera och kanterna av ledarna kommer att bli belysta för mycket, som leder till mindre bredd av ledarna än vad man ville ha. Om man åter belyser för kort tid så kommer det att finnas för mycket koppar på kretskortet än önskat. När man belyser måste man också akta sig för att inte titta på UV-ljuset, eftersom det är skadligt för synen. Belysningen bör vara så nära själva masken som möjligt och placerad på ett sådant sätt att det lyser jämnt över hela ytan.

## **2.4 Framkallning**

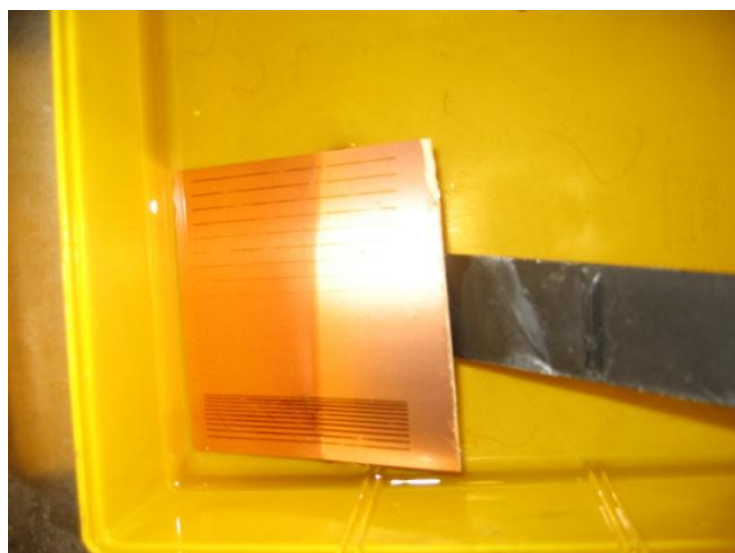
Blandningen man använder i denna process är 10 gram natriumhydroxid och 1 liter ljummet vatten. Denna blandning är effektiv i ca 24 timmar, så det lönar sig oftast att blanda en ny blandning för varje dag när man behöver framkalla kretskort. Man placerar det belysta kretskortet i blandningen och rör på det. Man måste vara mycket försiktig med hur länge man har kortet i vätskan. Vätskan är mycket frätande så man bör akta händerna.

Man doppar in kretskortet i blandningen med kopparsidan uppåt så man kan följa med hur snabbt lacket löser sig från ytan (Figur 5).



*Figur 5. Fotoresistet löser ut sig i framkallningen*

Framkallningen är färdig när lacket har löst av sig från alla andra platser utom där var man hade sin mask (Figur 6). I detta skede spelar också tiden en stor roll. Blandningens koncentration, temperatur och agitation (dvs. omrörning eller skakning) är nyckelvariabler. /3/



*Figur 6. Fotoresistet är borta från de önskade platserna*

Om tiden är för kort så finns det överloppslack på ytan av kortet, som leder till höjd risk av kortslutningar. För lång tid leder till att blandningen fräter bort för mycket lack, som i värsta fall kan leda till att kopparledaren försvinner helt och hållet om diametern av den är tillräckligt liten.

## 2.5 Etsning

Denna blandning består av ca 500 gram Natriumpersulfat som blandas i två liter vatten. I tanken finns det en värmespiral som värmer vattnet (Figur 7). Det finns också en pump i tanken som tillverkar bubblor och som konstant blandar om vätskan så att blandningen är lika stark i hela tanken. Temperaturen i den färdiga blandningen är 50-60°C och färgen på en nygjord blandning är genomskinlig medan en gammal blandning med utlöst koppar i sig får en blåskiftande färg. Vätskan värms för att nå den maximala hastigheten på de kemiska reaktionerna mellan de olika ämnena. Etsningens framgående bevakades visuellt. Ett bra sätt var att få processen att fungera bättre och snabbare var att röra upp och ner på plattan i vätskan.



*Figur 7. Etsningskedet*

Närmare slutet så tar man ut plattan och sköljer av den med vatten. I detta skedet ser man klart om det finns för mycket av koppar kvar. Om kretskortet kräver vidare etsning så lägger man plattan tillbaka i ämnet och upprepar proceduren ända tills man är nöjd med resultatet. Beroende på temperaturen, hur mycket man rör om plattan i blandningen och hur stark den kemiska blandningen är så tar etsningsskedet från ungefär 10 minuter och uppåt. Denna blandning kan användas om flere gånger, men för varje extra gång så är effekten på blandningen mindre.

Andra ämnen som används för denna blandning är oftast Ferroklorid. Skillnaden i slutprodukten är inte så stor, men med ferroklorid blir blandningen mycket smutsigare och plattan kommer att se rostig ut.

Etsningsvätskan är farlig för människan och får inte hällas i avloppet för den korroderar rören. Den använda vätskan bör hanteras som problemavfall och föras till en hanteringsplats för dessa.

## **2.6 Val av material**

Kretskortet köptes från Partco OY och var av storleken 160 x 100 mm. Plattans tjocklek är 1500  $\mu\text{m}$  och kopparbeläggningen är 35  $\mu\text{m}$ . Den hade också en limbildsfolie som skyddar det UV-sensitiva lacket.

Andra material som behövs i detta projekt är kemikalier för framkallnings- och etsningsskedet. För framkallningen användes natriumhydroxid ( $\text{NaOH}$  alltså lut). Blandningen är 10 gram i ljummet vatten som högst skall ha temperaturen 25°C.

Sedan för etsningsskedet används natriumpersulfat ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) som placeras i en tank med en värmepump. För bästa resultat så bör färdiga blandningen värmas upp till 50-60°C. Med detta ämne skall man vara försiktig för det är mycket stark oxiderande och bleker kläderna mycket lätt.

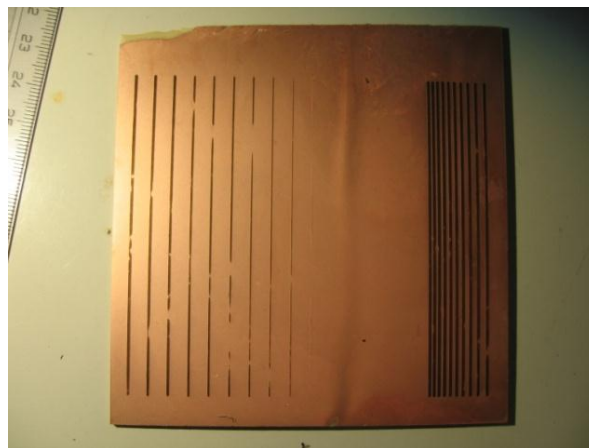


### 3 METODEN

#### 3.1 Olika sorter av etsningsfel

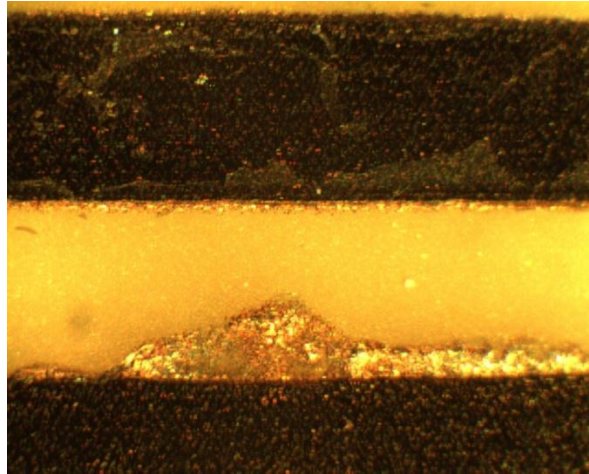
Det färdigt etsade kortet kan i denna undersökning ha två olika sorters fel. I tjockleksvariationen så önskar man få en exakt rak kopparlinje producerad. Med denna tillverkningsprocess så kommer man att hitta variationer i bentjockleken. Dessa variationer kallas etsningsfel. På olika ställen av kopparbanan har banan antingen ett för smalt resultat eller ett för tjockt resultat än det man önskar tillverka i teori.

- Bruten linje - är när banan har en mindre diameter än önskat. Detta fel leder till att strömmen som skall löpa igenom den inte kommer att göra det. I värsta fall så har framkallningen eller etsningen ätit upp all fotoresist eller koppar. Det leder till att banan inte mera är kontinuerlig (Figur 8, linjerna till vänster). Om detta händer så kommer strömmen inte att kunna passera igenom det tomma utrymmet.



*Figur 8. Fel 1 – Bruten linje*

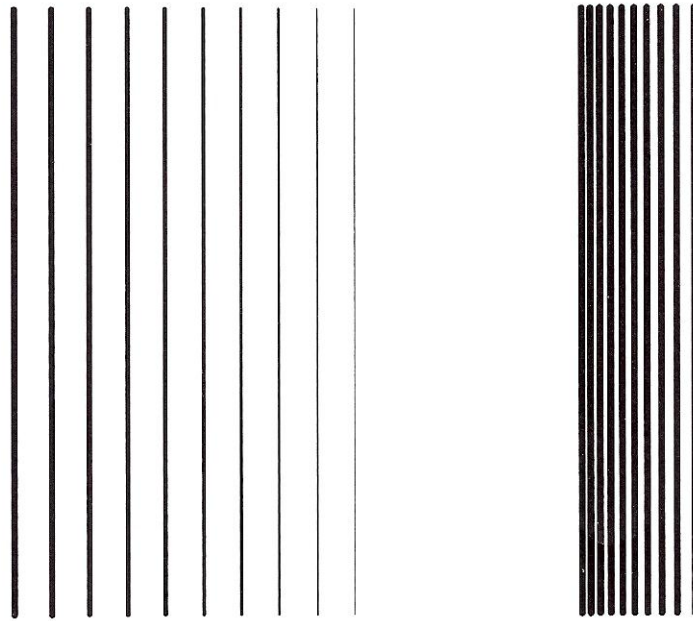
- Kortslutning - är när banan är tjockare än önskat. När man producerar flere linjer mycket nära varandra så är detta ett oönskat resultat. Om man har ett sådant fel mellan två linjer som är mycket nära varandra kommer det att leda till en brygga mellan kopparbanorna för strömmen att hoppa över (Figur 8 linjerna till höger och Figur 9). Detta kommer att leda till en kortslutning som kan förstöra fastmonterade komponenter.



*Figur 9. Fel 2 - Kortslutning*

### **3.2 Design av masken**

Vikten med forskningen är att kolla kvaliteten på kopparledarna med olika tillverkningssätt. Så designen som valdes var flere olika linjer med varierande mellanrum mellan varandra samt varierande tjockleker på linjerna. Maskens design i sig själv är inte invecklad eftersom en egentlig krets inte behövde tillverkas. Masken ritades med GIMP 2 som är en förkortning av ”The GNU Image Manipulation Program” och är ett gratis bildbehandlingsprogram som stöds av många operativsystem.



*Figur 10. Färdiga masken i egentlig storlek*

Linjerna är 8 cm långa. Till vänster på figuren är tjockleken av linjerna varierande och mellanrummet av alla linjer 5 mm. Till höger så är mellanrummet varierande och tjockleken på alla linjer är 1000  $\mu\text{m}$ .

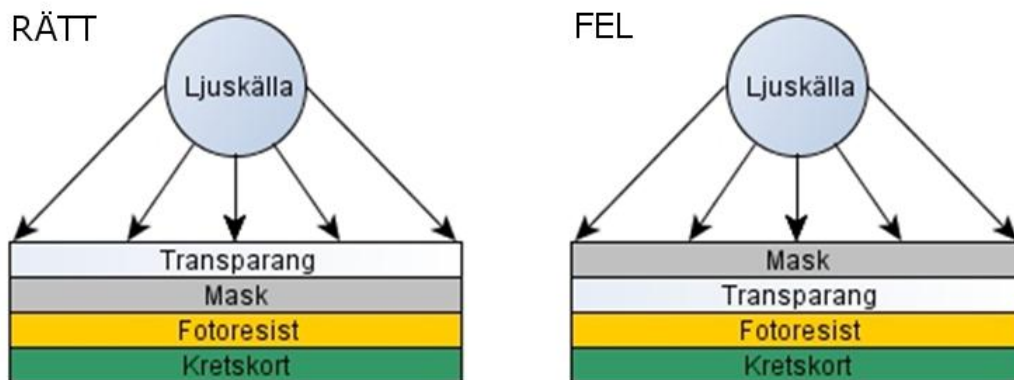
Varierande tjockleken på linjerna från vänster är 1000  $\mu\text{m}$ , 900  $\mu\text{m}$ , 800  $\mu\text{m}$ , 700  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$  och 100  $\mu\text{m}$ . Med dessa linjer kollar man hur små linjer som kan tillverkas och söker efter brytna linjer som är en fara när man tillverkar dem med en liten diameter.

Varierande benmellanrummen från vänster är 100  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$ , 700  $\mu\text{m}$ , 900  $\mu\text{m}$ , 1000  $\mu\text{m}$  och 1400  $\mu\text{m}$ . Dessa linjer visar möjliga kortslutningfel som kan uppstå när linjerna är mycket nära varandra.

### 3.3 Produktion med materialval

De kretskort som köptes för denna forskning krävde mycket längre belysningstid än förväntat. Kretskort som belyses med denna teknik brukar oftast ha en belysningstid omkring 1-2 minuter. Belysningen av ett kretskort krävde upp till 4 minuters belysningstid för att få ett bra resultat. Detta kast i belysningstiden varierar på grund av tjockleken på det UV-sensitiva lacket. Belysningsapparaten jag använde hade vakuum sug på 0,1 bar, som håller masken på kortet på plats. Framkallningsskedet tog normal tid och var omkring 3-4 minuter. Etsningen tog ca 25 minuter per kort som också är normal tid för dessa skedet.

Två kretskort tillverkades på annorlunda sätt. Det första hade masken mot fotoresisten, medan det andra hade transparangen mellan masken och fotoresistet (Figur 11).

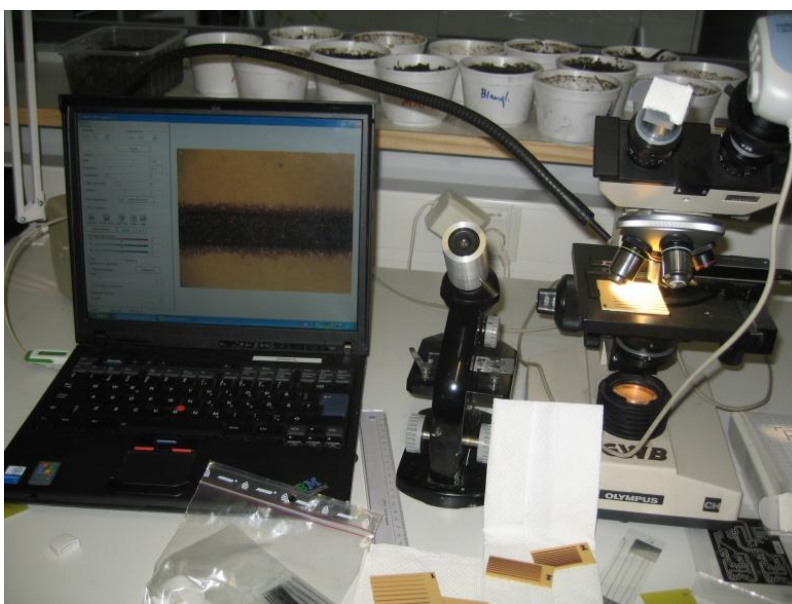


*Figur 11. Skillnaden av maskplacering*

På bilden ovan ser man två olika sätt att placera masken, rätt respektive fel. Ljuskällan är själva UV-lampan som lyser på kretskortet. Genom att placera transparangen med själva masken mot fotoresistet så blir felet i belysningsskedet så litet som möjligt. Om masken inte är direkt mot fotoresistet och har själva transparangen emellan så kommer fotoresistet att bli belyst på fel sätt och kommer att leda till ett mindre belyst område än önskat. Transparangen är 100  $\mu\text{m}$  tjockt.

## 4 INSPEKTION AV KRETSKORT

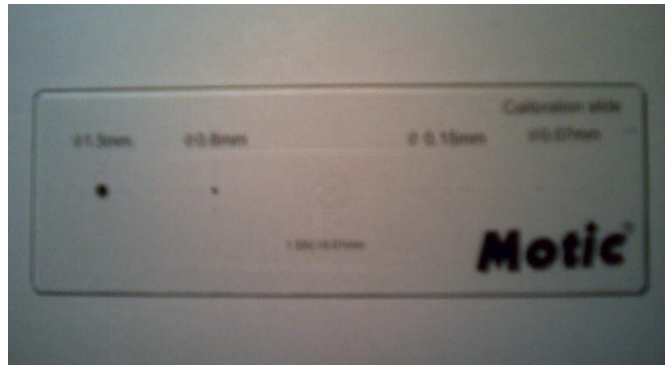
För inspektion av tillverkningsresultat så användes ett mikroskop med en fast monterad USB-kamera (Se Figur 12). De färdiga kretskorten sågades först till mindre bitar som man kunde fästa i mikroskopet. För att kretskortsmaterialet inte är genomskinligt så behövdes också extra belysning som man fick från en skild lampa vars belysning man kunde rikta till det området man arbetade på. För varje skild mätningpunkt och förstöringsalternativ ändrade man på linsens fokus samt belysningen bakom kortet. Mikroskopet i fråga hade förstöringsalternativ 1x, 4x, 10x och 40x varav 40-gångers förstoringen inte kunde användas för den linsen var för nära kretskortet samt belysningen var för mörk för att se någonting.



*Figur 12. Inspektionsredskap*

Varje gång kalibrerade man mikroskopet på nytt för att få korrekta mätningresultat.

För kalibrering av mikroskopet och mjukvaran på datorn använde man en kalibreringsplatta (Figur 13) som kom med USB-kameran. Kalibreringsplattan har fem olika sorters kalibreringsfigurer.



*Figur 13. Kalibreringsplatta*

Vid kalibreringen valde man pricken som har 1500  $\mu\text{m}$  i diameter och ställde in kalibreringsplattan i mikroskopet. Efter det tog man ett foto av pricken inställd i mitten av skärmen. Sedan far man till Calibration Wizard som hittar under Measure-menyn i Motics program. Följande steg bör användas:

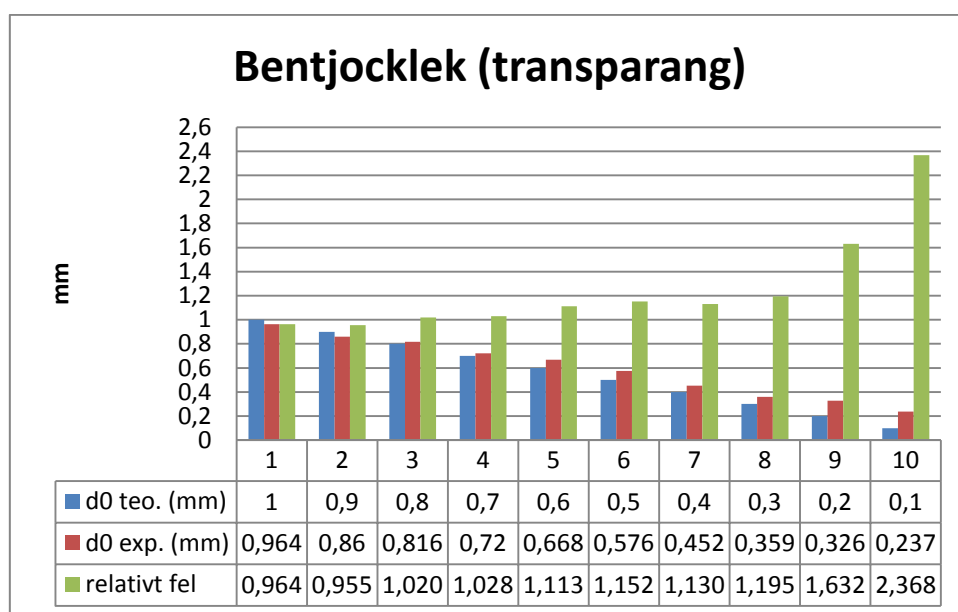
- load image (väljer man bilden man tagit av den runda pricken)
- väljer Calibrate with Calibration circle
- ändrar förstoringen till 10x som är mikroskoplinsens förstoring
- external diameter of the dark round pattern till 1500  $\mu\text{m}$  som var storleken av pricken på kalibreringsplattan.
- trycker på Calibration

När man hade ställt in fokuset och belysningen på det man såg på datorskärmen, så tog man en bild. Sedan öppnade man bilden med datorprogrammet och med hjälp av kamerans egen mjukvara så mätte man de olika distanserna man var intresserad av. Olika förstörningsalternativ krävde också olika inställningar på mjukvaran i fråga.

## 4.1 Tjockleksvariation

Masken som användes för dessa mätningar hade 10 linjer varav alla linjer hade en varierande bredd mellan 1,0 mm och 0,1 mm. Resultaten mättes av själva masken, masken placerad mot kretskortet och masken placerad ifrån kretskortet. En stor skillnad märktes mellan de teoretiska värdena och de egentliga värdena.

I följande graf ser man hur nära det teoretiska värdet man kommer när man har printat ut masken på en transparang (Figur 14).

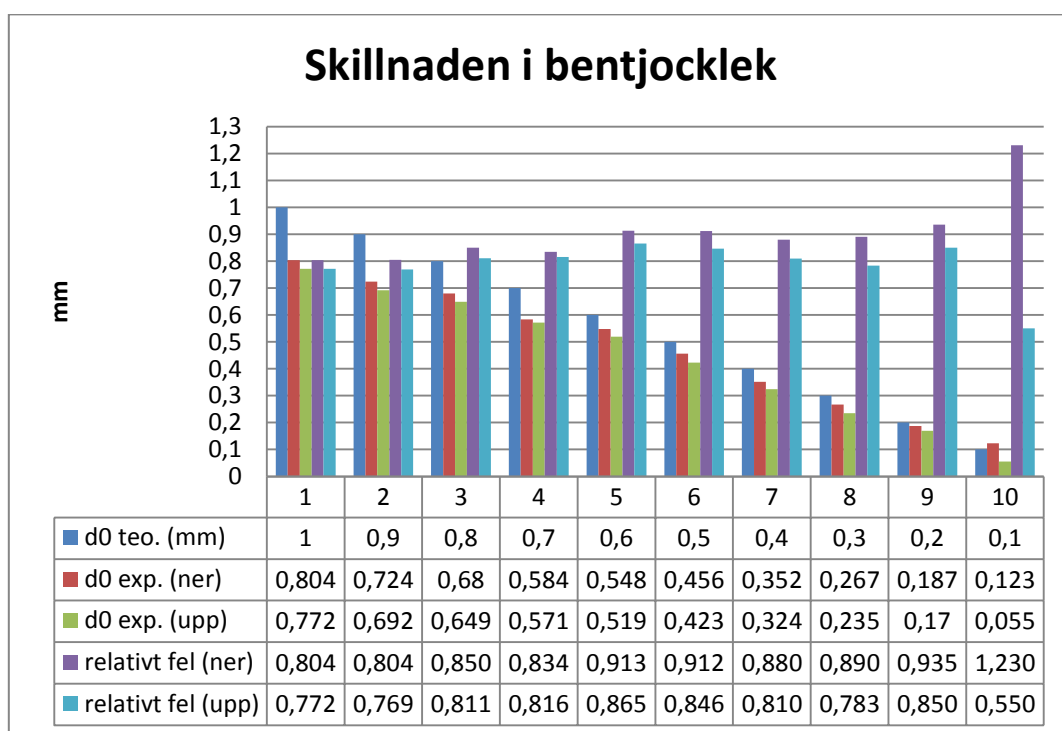


Figur 14. Skillnad mellan teoretiska värdet och själva masken

Variationerna i dessa värden är praktiskt sett de minsta man kommer att ha när man tillverkar själva kretskortet. Från figur 14 ser man att desto mindre linjens diameter blir så blir också själva felet också större. Vid 1mm teoretisk tjocklek kom man upp till ett värde som ligger nära det man önskat, nämligen 0,964 mm. När vid 0,1 mm så är felet redan mera än dubbelt av den tjocklek man önskade, nämligen 0,237mm.

#### 4.1.1. Mätresultat av bentjockleksvariation

I följande tabell motsvarar den blå linjen det man teoretiskt vill åstadkomma. Den röda linjen motsvarar mätresultaten man fick när man hade masken ner, alltså mot kopparytan. Den gröna linjen är de resultat man fick när masken var upp, alltså själva masken och kopparytan hade transparangen emellan sig.



Figur 15. Skillnad i bentjocklek

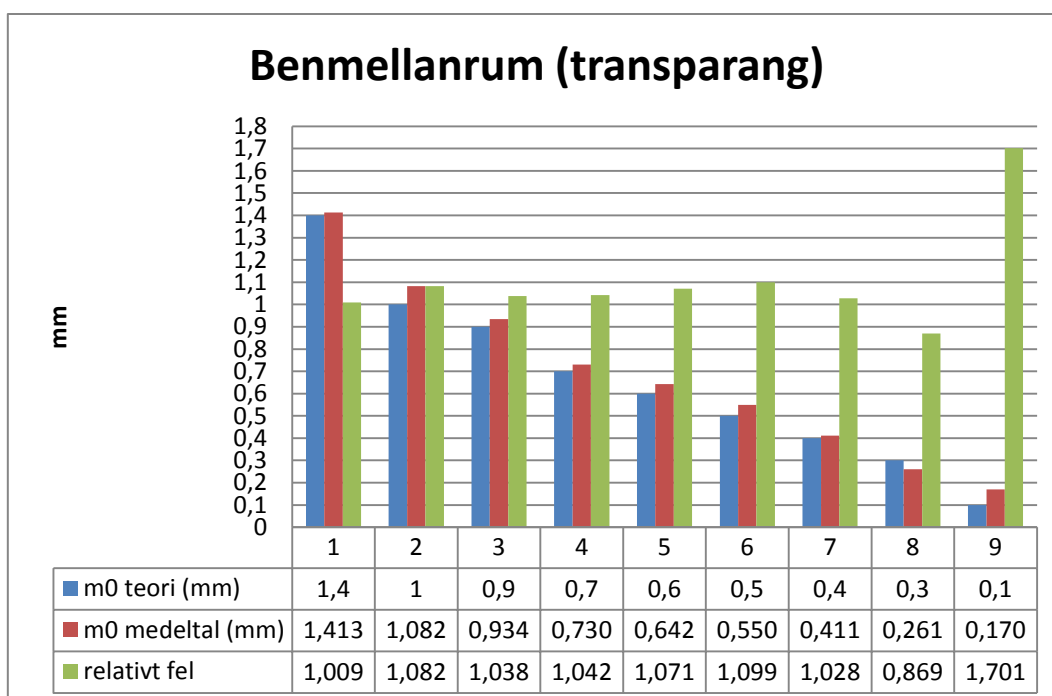
Ur figur 15 ovan ser man att alla utom ett värde man fick av de tillverkade plattorna är mindre än det man teoretiskt ville ha. Det här betyder att alla värden som är mindre så betyder i praktiken en smalare linje än önskat. Detta kallas för överetsning och innebär eventuellt en för lång framkallning eller alternativt en för liten mask.



## 4.2 Mellanrumsvariation

Masken som användes för att mäta resultaten i mellanrumsvariation hade 10 linjer och alla hade en bredd på 1,0 mm. De nio olika mellanrum i denna mask hade alla varierande värden mellan 1,4 mm och 0,1 mm.

I följande tabell ser man hur nära det teoretiska värdet man kommer när man har printat ut masken på en transparang (Figur 16).

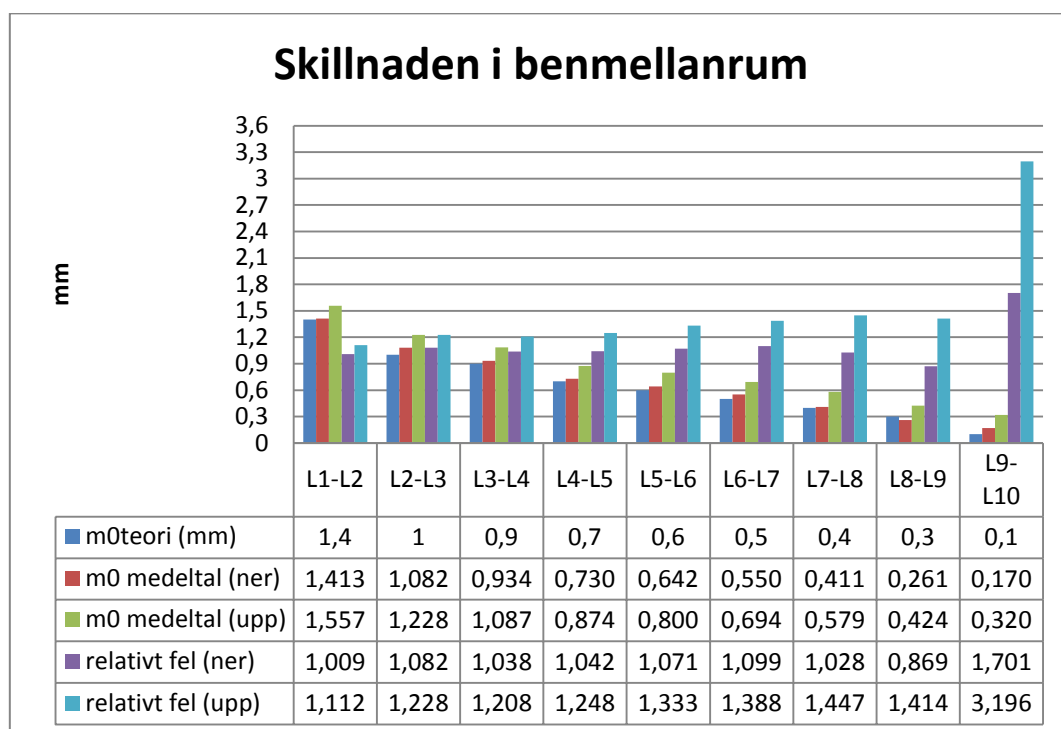


Figur 16. Skillnad mellan teoretiska värdet och själva masken

Från figur 16 ser man absoluta felet som förekommer efter printning. På vissa avstånd ser värdena ut att vara nära det önskade benmellanrummet. I alla dessa mätningar ser man att det praktiska värdet man mätt är större än det önskade teoretiska värdet. Detta betyder att om man producerar flere kopparlinjer med ett visst benmellanrum så kommer kopparlinjen som ligger mellan benmellanrummen att vara mindre än önskat.

#### 4.2.1. Mätresultat av benmellanrum

I följande figur motsvarar den blå linjen det man teoretiskt vill åstadkomma. Den röda linjen motsvarar mätresultaten man fick när man hade masken ner, alltså mot kopparytan. Den gröna linjen är de resultat man fick när masken var upp, alltså själva masken och kopparytan hade transparangen emellan sig.



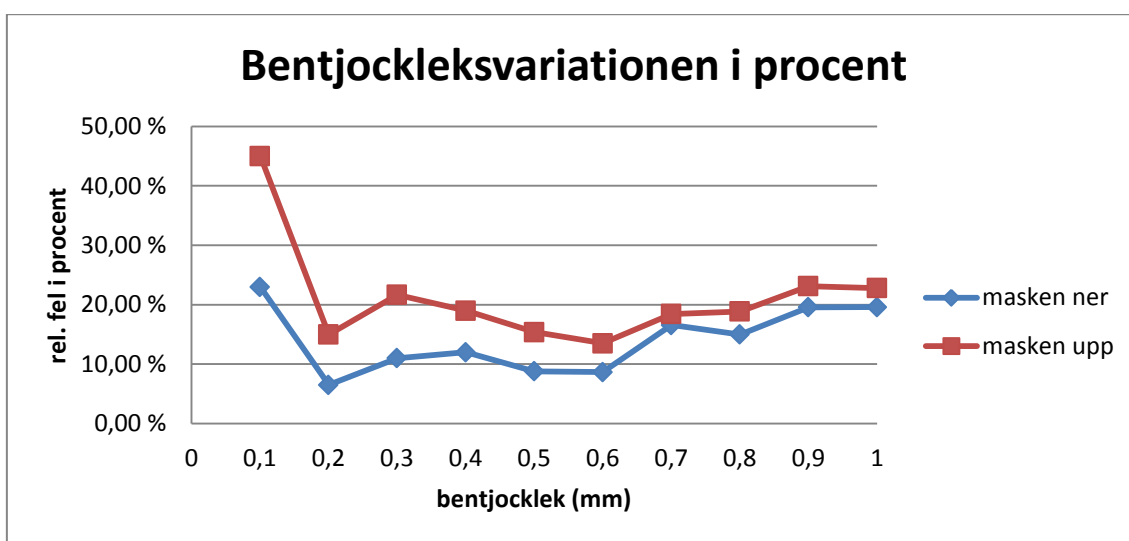
Figur 17. Skillnaden mellan teoretiska och praktiska benmellarummet

Från figur 17 kan man se att i alla benmellanrum kommer man mycket närmare det önskade värdet med masken mot kopparytan. I mätpunkt L1-L2 så borde mellanrummet mellan linjerna vara 1,4mm och man kommer mycket nära det med masken ner mot kopparytan. Medan om man har transparangen emellan masken så kommer man inte lika nära det önskade värdet. T.ex. vid mätpunkt L9-L10 där benmellarummet borde vara 0,1 mm så blir den nästan två gånger så stor med masken ner och mera än tre gånger så stor med masken upp.

## 4.3 Slutsatser av mätresultat

### 4.3.1 Bentjocklek

Från resultaten man får i produktion så ser man att linjer med de största och minsta diametrarna ger de största felen. De minsta felen hittas i de mellersta mätpunkterna. I följande graf ser man hur mycket mindre den relativa vidden på kopparlinjerna är i procent.



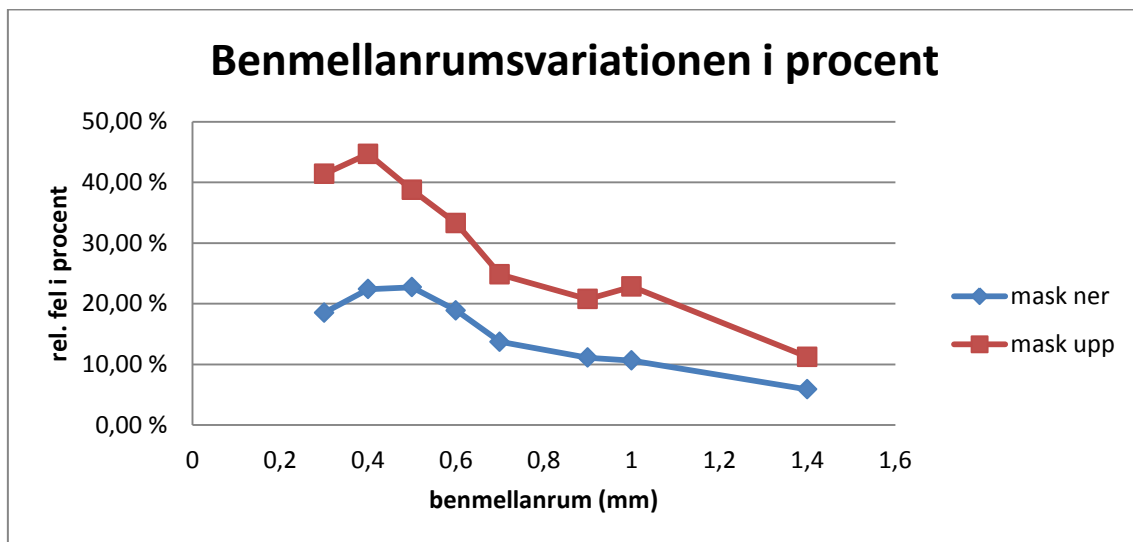
Figur 18. Relativa felet i procent

När man studerar denna figur så ser man snabbt att det minsta relativa felet hittar man vid en bentjocklek på 0,6 mm och 0,2 mm. Från ovanstående tabell kan man se att maskplaceringen har en stor roll. Destu mindre diametern på kopparbenet blir destu större blir kastet mellan mask ner och mask upp. Grovt sagt ökar det relativa felet med 50 % om masken är felplacerad.

Från dessa värden kan man komma fram till att den minsta bentjockleken som man kan tillverka med det minsta felet är 0,2 mm när masken varit neråt riktad. Medan om man hade masken upp så ger den värdet 0,6 mm som det nogrannaste alternativet.

#### 4.3.2 Benmellanrum

När man har studerat resultaten så kan man anta att om man placerar masken så att transparangen kommer emellan kopparytan och själva masken, så kommer felen i resultaten att vara dubbelt så stora jämfört med om man placerar masken fast i kopparet vid belysningen. I följande graf demonstreras hur många procent resultatet varierar från det önskade teoretiska värdet i båda fallen (Figur 19).



Figur 19. Relativa felet i procent

Man kan se att i båda fall så ökar sig relativa skillnaden destu mindre benmellanrummet blir. Vid ett mellanrum på 1,4 mm så är felet under 6 % med masken ner. Med masken ner mot kopparet så var felet under 20 %. Benmellanrummet på 0,1 mm är inte med i tabellen för det är betydelselöst, eftersom det relativa felet blev över 200 %.

Från dessa värden kan man komma fram till att det minsta benmellanrummet som ännu har ett litet fel är 0,3 mm (mätpunkt L8-L9).

## 5 DISKUSSION

Upplösningen på den utskrivna transparangens mask är en mycket viktig parameter i tillverkningsprocessen. Eftersom ljus används för överföring av mönstret så kommer det att tränga sig igenom på alla ställen som inte är täckta av masken. Ett bra exempel är en printer vars bläck håller på att ta slut. Då kommer printern att skriva ut ett ojämt lager av bläck på transparangen. Där bläcket är tunnare så kommer ljuset att tränga sig igenom mycket lättare än på de tjocka platserna. Om man är osäker på tjockleken av färgen så kan man printa ut masken två gånger på skilda transparanger och sedan försiktigt fästa dem exakt på varandra. Detta gör det svårare för ljuset att tränga sig igenom bläcket vid belysningen.

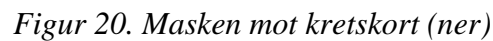
Vanligaste printrarna har upplösning upp till 1200 dpi som betyder 1200 punkter på en tum. Med följande beräkningar kommer man fram till hur stor en punkt är:

$$\begin{aligned}1200 \text{ dpi} &= 1200 \text{ dots} / 1 \text{ inch} \\x / \text{dot} &= 25,43 \text{ mm} / 1200 \text{ dots} \\x &= 25,43 \text{ mm} / 1200 \text{ dots} \\x &= 0,02119167 \text{ mm/dot} \\x &= 21,19167 \text{ }\mu\text{m/dot}\end{aligned}$$

Detta betyder att ungefär 21,2  $\mu\text{m}$  är det minsta teoretiska benmellanrummet man kan komma fram till vid 1200 dpi, när man ritar linjer och tillverkar kretskortet litografiskt med en utskriven mask. Bästa resultatet får man när man använder högsta möjliga upplösning med en printer som verkligen klarar av att skriva ut det på en transparang.

För bästa möjliga resultat vid belysningen så bör den sidan av transparangen som har bläcket på sig vara så nära kretskortets fotoresist som möjligt. Då ser man till att minsta möjliga mängd av ljus kommer in på oönskade ställen och får det bästa resultatet.

Ett alternativt sätt är att manuellt trycka fast dem i varandra, men detta resulterar i sämre kvalitet eftersom det inte kommer att tryckas lika jämnt över hela ytan.



Figur 21. Masken ifrån kretskort (upp)

Förklaring av Figur 21:

$\Delta d_{1/2}$  = området vars belysning inte är så effektiv som den borde vara. Oönskat område av koppar vars tjocklek varierar.

$b$  = banans bredd

$s$  = distans mellan lampan och masken

$\alpha$  = belysningsvinkeln

I figur 21 så är transparangen emellan kretskortet och själva masken. Detta kommer att ha en inverkan på resultatet av belysningen. Vinkeln  $\alpha$  önskar man att är så liten som möjligt. Ju mindre vinkeln  $\alpha$  är desto mindre kommer  $\Delta d$  att vara. En liten vinkel ger bättre slutresultat än en stor. Detta innebär att spridningsdistansen mellan lamporna borde minskas och distansen mellan lampan och kretskortet ökas.



## 6 KÄLLFÖRTECKNING

- /1/ Khandpur, Raghbir Singh. Printed Circuit Boards: Design, Fabrication and Assembly. Blacklick OH, USA: McGraw-Hill Professional Publishing, 2005.  
Tillgänglig: Ebrary. Hämtad 31.04.2010
  
- /2/ Photolithography – Wikipedia, the free encyclopedia. Sökord: Photolithography.  
Tillgänglig: <http://en.wikipedia.org/wiki/Photolithography> Hämtad 10.02.2011
  
- /3/ Coombs, Clyde. 2001, *Coombs' Printed Circuits Handbook*, w. CD-ROM (*McGraw-Hill Handbooks*), 5 uppl. New York: McGraw-Hill Professional, 1200 s.
  
- /4/ Landers, Thomas; Brown, William; Fant, Earnest; Malstrom, Eric & Schmitt, Neil. 1994. *Electronics Manufacturing Processes*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 564 s.

## BILAGOR

### BILAGA 1. MÄTRESULTAT

SIDA[1/2]

#### Bentjocklek (transparang)

d0 teo. (mm)	d0 exp. (mm)	$\Delta d_{0max}$	$\Delta d_{0max}$	inte $\Delta d_0$ (mm)
		Längd (mm)	Tjocklek (mm)	
1	0,964	0,1011	0,0144	0,0024
0,9	0,86	0,1027	0,0096	0,0028
0,8	0,816	0,1107	0,008	0,002
0,7	0,72	0,0325	0,0183	0,0028
0,6	0,668	0,0353	0,0145	0,0044
0,5	0,576	0,3	0,068	0,0044
0,4	0,452	0,5735	0,032	0,0061
0,3	0,3587	0,0466	0,032	0,0064
0,2	0,3264	0,1941	0,0465	0,0076
0,1	0,2368	0,4701	0,0144	0,0064

#### Benmellanrum (transparang)

	m0teori	$\Delta m_{0p1}$	$\Delta m_{0p2}$	$\Delta m_{0p3}$	$\Delta m_{0p4}$	$\Delta m_{0p5}$	m0 teori (mm)	m0 medeltal (mm)
L1-L2	1,4	1,412	1,404	1,412	1,412	1,42	1,4	1,413
L2-L3	1	1,076	1,092	1,08	1,072	1,09	1	1,082
L3-L4	0,9	0,928	0,948	0,932	0,932	0,93	0,9	0,934
L4-L5	0,7	0,732	0,736	0,728	0,716	0,74	0,7	0,730
L5-L6	0,6	0,636	0,648	0,632	0,648	0,65	0,6	0,642
L6-L7	0,5	0,552	0,536	0,556	0,548	0,56	0,5	0,550
L7-L8	0,4	0,388	0,44	0,396	0,444	0,39	0,4	0,411
L8-L9	0,3	0,256	0,26	0,276	0,264	0,25	0,3	0,261
L9-L10	0,1	0,176	0,1658	0,1792	0,1696	0,16	0,1	0,170

**Bentjocklekvariation**

	1 kort		2 kort	
d0 teo. (mm)	d0 exp. (ner)	d0 exp. (upp)	relativt fel (ner)	relativt fel (upp)
1	0,804	0,772	0,804	0,772
0,9	0,724	0,692	0,804	0,769
0,8	0,68	0,649	0,850	0,811
0,7	0,584	0,571	0,834	0,816
0,6	0,548	0,519	0,913	0,865
0,5	0,456	0,423	0,912	0,846
0,4	0,352	0,324	0,880	0,810
0,3	0,267	0,235	0,890	0,783
0,2	0,187	0,17	0,935	0,850
0,1	0,123	0,055	1,230	0,550

**Benmellanrumsvariation**

		m0	m0		
	m0teori	medeltal	medeltal	relativt fel	relativt fel
	(mm)	(ner)	(upp)	(ner)	(upp)
L1-L2	1,4	1,413	1,557	1,009	1,112
L2-L3	1	1,082	1,228	1,082	1,228
L3-L4	0,9	0,934	1,087	1,038	1,208
L4-L5	0,7	0,730	0,874	1,042	1,248
L5-L6	0,6	0,642	0,800	1,071	1,333
L6-L7	0,5	0,550	0,694	1,099	1,388
L7-L8	0,4	0,411	0,579	1,028	1,447
L8-L9	0,3	0,261	0,424	0,869	1,414
L9-L10	0,1	0,170	0,320	1,701	3,196